第39卷 第1期
2022年1月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 39 No. 1
Jan. 2022

甘肃省农村饮水安全工程运行管理评价

姜 伟[1]， 席海洋[2]， 程文举[2,3]， 刘 芹[1]

（1. 甘肃省农村饮水安全管理办公室，甘肃 兰州 730000；2. 中国科学院西北生态环境资源研究院，中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室，阿拉善荒漠生态-水文试验研究站，甘肃 兰州 730000；3. 中国科学院大学，北京 100049）

摘 要：农村饮水安全工程是实现全面小康的重大民生工程。研究基于统计数据、实地走访和调查问卷，运用熵权法和模糊数学法，对甘肃省农村饮水安全工程运行管理现状进行评价。旨在建立较全面系统且合理长效的评价体系，同时分析目前饮水安全工程运行管理中存在的问题。结果表明：(1) 甘肃省农村饮水安全工程运行管理状况良好，但是省内地区间差异较大，表现为河西5市的评价结果较好，南部各县（市、区）的评价结果相对较差。(2) 对评价等级为“一般”的地区，需要针对政策落实、管理条例更新执行、提升公众维护意识、水管员队伍建设以及供水管道的智能化建设方面进一步优化部署。经过多年的实践探索，甘肃省形成了集中供水工程和分散供水工程并举的特色饮水安全工程建设模式。本研究以期为农村饮水安全工程建设提供切实可行的对策建议，同时也为今后甘肃省乃至全国其他地区的农村饮水安全建设提供技术支撑与科学依据。

关键词：农村饮水安全；饮水工程；运行管理；评价；甘肃

农村饮水安全长期受到社会的关注[1]。“十三五”以来，国家重点关注农村贫困地区的饮水问题，在此情势下，甘肃省率先完成了农村饮水安全脱贫攻坚[2]。但是，目前农村饮水安全工程仍然存在工程建设标准低、地表水受到污染、自来水普及率不高等问题[2-3]。

国外对于饮水安全问题关注较早。从20世纪初开始，美国、欧盟、荷兰等相继开始关注农村水管理准则，并开始大力建设饮水工程[4]。在建设过程中发现，工程技术并不能解决所有饮水问题，水源短缺与水源管理不善有很大的关系，应寻求新的水源管理体制，以实现水源有效管理[4]。发达国家在保障饮水安全方面的工作主要在于立法的完善、水源的保护、应急机制、水质监测、技术设备等[5]。

国内对饮水安全问题关注较迟，但发展迅速。刘利霞等[6]将熵权法与综合评价法相结合，对云南省的农村饮水安全进行了定量化评价，认为将两种方法相结合可以客观的确定农村饮水安全所处的状态。杨才杰等[7]提出了一套适合浙江省的农村饮水安全评价指标体系。况卫明等[8]调查了江西省饮水安全工程现状，结合工程建设前期、建设期和建设后期的工作，提出了适合的评价指标体系。刘伟[5]从供水状况、工程运行和人员体制3个方面对山西省河津市农村饮水安全进行了快速评估。秦山茸[9]分析了辽宁省农村饮水安全工程对当地地下水和水环境产生的影响，认为农村饮水安全工程的兴建将有效地控制地下水的过量开采，使全省的水功能区的水环境得到极大改善。田佳[10]认为组织管理、安全管理、可持续发展能力和工程管理是农村饮水安全工程发展的主要影响因素。武莉沙[4]从投入-过程-产出-影响4个方面建立了农村饮水安全工程绩效评价框架，并在评价的基础上给出相关建议。李斌等[11]筛选出29项具体指标，对农村饮水安全工程的效果进行了评估。张力等[12]通过研究饮水安全工程的用水户满意度评价办法，对江苏北部地区典型工程进行了评价，指出了工程建设过程中的薄弱环节并提出了建设性意见。陈鹏[3]从社会效益、生态环境、经济指标等方面出发，评估了济南

收稿日期：2021-05-08； **修订日期：**2021-07-13
基金项目：甘肃省农村饮水安全后评价研究(E039040301)
作者简介：姜伟(1966-)，男，高级工程师，主要从事农村饮水安全规划及管理. E-mail: 975753484@qq.com
通讯作者：席海洋. E-mail: xihy@lzb.ac.cn

市的农村供水工程。已有研究多是从各个方面入手进行评价分析，较为破碎且侧重点不同，缺乏广泛的适用性。

近年来，已建农村供水工程在运行中出现不少的问题，例如，供水系统总体布局不合理，造成原水水源水量不足，水源水质不能满足要求，特别是水污染日益加剧，问题更为突出；农村水厂建设规模小，水质处理还达不到标准，运行管理不到位或成本高，未能真正解决农村饮水安全问题。相关研究的共同特点是针对农村的具体情况和实践经验，从不同角度入手，提出了适合农村饮水安全评价的指标体系[13]。总体上，还需要进行区域层面、经济发展层面、自然状况层面等不同尺度的进一步研究。

在评价方法的研究方面，主要用到的评价方法有层次分析法[4-5]、熵权法[6]、模糊数学法[4]、突变理论法[2]等。有学者应用上述方法建立了饮水工程评估模型[3]和饮水安全层次结构模型[14]；在可视化评价中，有关学者建立了农村饮水安全工程运行管理的可视化系统[15-16]。本研究总结借鉴前人研究方法的基础上，使用熵权法和模糊综合评价法构建评价模型。

1 研究区概况

1.1 自然状况与农村饮水安全基本信息

甘肃深居我国西北内陆，属干旱半干旱地区，水资源匮乏（图1）。境内地貌复杂多样[17-19]，多为山地、丘陵、沙漠、戈壁，梁峁密布，沟壑纵横，自然条件差，人口居住分散，解决农村饮水安全问题十分困难。2020年底，甘肃省已建成农村饮水工程 22.9×10^4 处，覆盖农村人口 2030.5×10^4 人，其中集中供水工程（百人以上）9034处，覆盖人口 1948.23×10^4 人；分散供水工程 22×10^4 处，覆盖人口 82.28×10^4 人。农村饮水集中供水率93%，自来水普及率90%，规模化工程供水人口覆盖比例56%，自然村通水率100%，千人以上工程水源保护区（范围）划定率41%。

1.2 甘肃省农村饮水安全工程运行管理现状

1.2.1 管理机构 甘肃省农村饮水安全运行管理机构设置包括省级成立农村饮水安全管理办公室、市州成立负责农村饮水安全管理部门、县级农村饮水安全管理总站、乡级农村饮水管理站、村组集体和用水者协会。其中县级农村饮水工程运行管理机构依据各县（市、区）特点，形式多样，主要有县级农村饮水安全工程管理办公室、农村饮水安全管理总站、自来水/供排水/水务投资公司、水利技术综合服务站、人饮工程管理局等。

1.2.2 管理模式 一是跨区域、跨流域或规模较大的集中供水工程。主要由县级专管机构、专业化公司等管理。二是规模较小的单村供水工程。主要

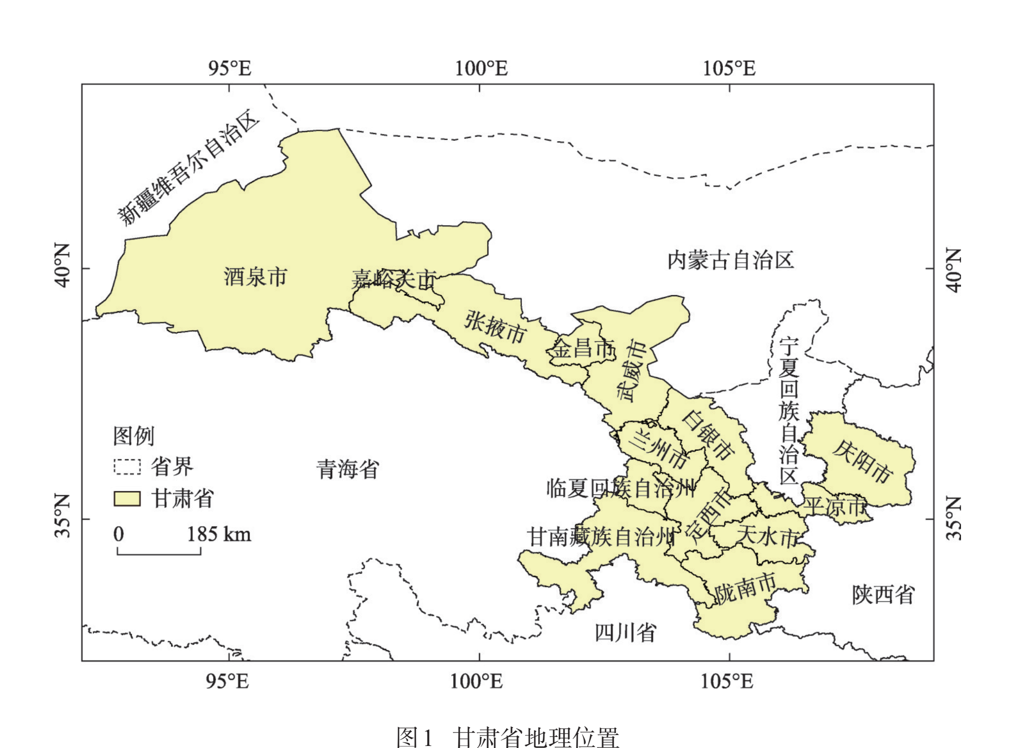


图1 甘肃省地理位置

Fig. 1 Geographical location of Gansu Province

由乡镇水管站、村组集体直接管理或个人和协会承包管理等。三是分散供水工程。水窖、小电井等分散工程，由用户个人自行管理。

1.2.3　管理与服务机制　全省86个县(市、区)及嘉峪关市依据《甘肃省农村饮用水供水管理条例》，明确了农村饮水安全县级政府主体、水行政主管部门监管、供水单位运行管理“三个责任”，县级农村饮水安全专管机构、运行管理办法和经费“三项制度”全部落实，运行管理单位、人员、水费计收等“三类信息”向社会公开。全省88处水质检测中心和千吨万人水厂化验室的水质检测设备、人员、经费落实到位，基本实现了农村饮水安全工程供水水质常规检测全覆盖。各类工程全部定价，已形成按单一制水价、两部制水价收费的多元化水费收缴制度。

2　数据来源与方法

2.1　数据来源

甘肃省农村饮水工程运行管理数据主要来自于调查问卷和甘肃省农村饮水工程统计(数据截止2020年)。调查问卷完成时间为2020年8月，通过实地走访调查和线上问卷答题的方式完成。共发放1400份问卷，回收问卷1100份，其中有效问卷1020份。

2.2　评价体系的构建

本次评价的对象为甘肃省86个县(市、区)以及嘉峪关市，共87个行政单元。评价指标选择标准须遵循指标选择的科学性和可操作性、全面系统性、层次性、动态性原则。根据指标选取原则和农村饮水安全工程的实际情况，选取评价指标如表1所示。

2.3　研究方法

2.3.1　熵权法　评价指标的无量纲化[20]。评价之前首先将样本矩阵中各指标使用线性插值法进行无量纲化处理[21]。其原始指标数据矩阵如公式(1)所示：

$$X=\left[X_1\quad X_2\quad X_3\quad \cdots\quad X_n\right] \tag{1}$$

通常情况下，指标划分为负向指标和正向指标。

正向指标是指指标值与评价等级呈正比的指标，其标准化方法如公式(2)所示：

$$Y=\frac{X-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \tag{2}$$

负向指标是指指标值与评价等级呈反比的指标，其标准化方法如公式3所示：

$$Y=1-\frac{X-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \tag{3}$$

式中：$X_{\max}$为指标最大值；$X_{\min}$为指标最小值。

指标权重的确定。使用熵权法确定指标权重，指标熵值e_j[20]：

表1　甘肃省农村饮水工程运行管理评价指标体系

Tab. 1　Evaluation index system of rural drinking water project operation and management in Gansu Province

评价目标	一级指标	二级指标	指标注释
甘肃省农村饮水安全工程运行管理评价A	组织管理A_1	政策体系A_{11}	对饮水工程运行管理的引导和推动作用
		管理体制A_{12}	应对问题的原则和调节机制
		管理人员配备A_{13}	是否有专业供水管理经验的管理人员或经过培训的兼职人员
		健全机制与执行力A_{14}	管理人员应对问题的执行力和效率
	工程管理A_2	供水保证率A_{21}	预期供水量在多年供水中能够得到充分满足的年数出现的概率
		生产工艺及设备A_{22}	取水和净水工艺设计是否合理，水处理设备是否及时更新换代
		设施及管网状况A_{23}	蓄水设施和供水管道是否有损坏，即供水设施的完好率
		乡村级水管员A_{24}	行政村水管员占有量
	安全管理A_3	供水水质A_{31}	区域内的水质监测覆盖比率
		应急能力A_{32}	是否建立农村饮用水工程数据库以及饮用水安全保障应急预案
		环境卫生A_{33}	农村饮水安全工程建成后，当地居民卫生环境状况是否有所改善
	经济管理A_4	水费征收率A_{41}	区域内实际征收的水费与应缴水费的比例
		资金管理A_{42}	工程建设以及运营过程中资金管理是否合理
	可持续能力A_5	维修养护A_{51}	能否及时对饮水工程进行维修和养护
		资金扶持A_{52}	是否有专项资金支持农村饮水安全工程的建设
		水源保护A_{53}	水源地是否有保护措施

$$e_j = -k\sum_{i=1}^{m} y_{ij}\ln y_{ij} \tag{4}$$

$$y_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{1}^{i} Y_{ij}} \tag{5}$$

式中：$k>0$；Y_{ij}为标准化之后的指标数据；y_{ij}为第j项指标第i个样本标准值的比重；$k=1/\ln m$，$0\le e_j\le 1$，如果y_{ij}为0则用0.00001代替计算。第j项指标的权重：

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^{n} d_j} \tag{6}$$

2.3.2 *模糊数学方法* 饮水工程的运行管理评价是典型的多指标决策问题，所以不能依靠单指标的结果去评价对象的好坏[22]。模糊数学法可以很大程度的保留原有指标的信息，因此选择此方法进行评价研究。

将甘肃省农村饮水安全工程运行管理评价标准分为优秀、良好、一般、较差4个等级。U为隶属度矩阵：

$$U = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & \cdots & U_{1n} \\ U_{21} & U_{22} & \cdots & U_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ U_{i1} & U_{i2} & \cdots & U_{in} \end{bmatrix} \tag{7}$$

式中：U_{in}为第i项指标对第n级等级标准的隶属度。

相对隶属度的计算方法如下：正向指标，当指标值比“优秀”等级阈值大时，说明该指标对“优秀”等级的隶属度是1，而对其他等级的隶属度是0[23]，如公式(8)所示：

$$U_{i1}=1,\ U_{i2}=U_{i3}=U_{i4}=0 \tag{8}$$

当第i项指标x_i的值介于其对应的第n级和第$n+1$级等级标准值$s_{i,n}$，$s_{i,n+1}$之间时，其对第n，$n+1$级等级的隶属度计算方法如公式(9)和公式(10)所示[23]：

$$U_{in} = \frac{x_i - s_{i,j+1}}{s_{i,j} - s_{i,j+1}} \tag{9}$$

$$U_{i,n+1} = \frac{s_{i,j} - x_i}{s_{i,j} - s_{i,j+1}} \tag{10}$$

当指标值比“较差”等级阈值小时，该指标值对“较差”等级的隶属度为1，而对其他等级的隶属度为0[23]，如公式(11)所示：

$$U_{i4}=1,\ U_{i1}=U_{i2}=U_{i3}=0 \tag{11}$$

负向指标的计算方法与正向指标相反，不再赘述。

2.4 评价指标的等级阈值

将甘肃省农村饮水安全工程运行管理指标分为4个等级，即优秀、良好、一般、较差。首先进行指标值的量化，指标评价结果用数值形式表示是进行综合评分的基础，除了定量指标的评价结果使用数值表示外，定性指标也需要进行量化。定性指标的量化，使用由低到高的划分等级，将4个等级分级情况转化为1分制数据，每个指标评价等级的阈值见表2。定量指标包括本指标体系中的供水能力、设施及管网状况、供水水质监测率、水费征收率，以百分比阈值表示。

表2 甘肃省农村饮水工程运行管理评价等级阈值

Tab. 2 Evaluation level threshold of rural drinking water project operation and management in Gansu Province

评价指标	指标性质	评价等级			
		优秀	良好	一般	较差
政策体系 A_{11}	定性	0.9	0.7	0.5	0.4
管理体制 A_{12}	定性	0.6	0.4	0.3	0.2
人员配备 A_{13}	定性	0.7	0.5	0.4	0.2
健全机制与执行力 A_{14}	定性	0.6	0.45	0.3	0.15
供水能力 A_{21}	定量	95%	85%	70%	60%
生产工艺及设备 A_{22}	定性	0.8	0.6	0.3	0.2
设施及管网状况 A_{23}	定量	90%	80%	70%	60%
乡村级管理员 A_{24}	定性	0.2	0.4	0.6	0.8
供水水质监测率 A_{31}	定量	90%	75%	60%	50%
应急能力 A_{32}	定性	0.7	0.5	0.4	0.2
环境卫生 A_{33}	定性	0.9	0.7	0.5	0.3
水费征收率 A_{41}	定量	90%	80%	70%	60%
资金管理 A_{42}	定性	0.9	0.7	0.5	0.3
维修养护 A_{51}	定性	0.8	0.6	0.4	0.2
资金扶持 A_{52}	定性	0.8	0.6	0.3	0.2
水源保护 A_{53}	定性	0.9	0.7	0.4	0.2

3 结果与分析

3.1 甘肃省农村饮水安全工程运行管理指标权重

根据熵值法确定了各个一级指标和二级指标的权重，其中在一级指标中组织管理和可持续能力指标的权重较大，分别达到0.25和0.21，安全管理和工程管理指标的权重都为0.20，经济管理指标的权重最小，只有0.14%。经过一级指标和二级指标的权重相乘，得出各个二级指标最终的归一化权重(表3)。二级指标中，供水水质所占的权重最高，达到0.086，水费征收率所占比重次之，达到0.078，政策体系和维修养护所占的比重较大，分别达到0.075、0.073；权重最小的是乡村水管员的数量，仅

表3　甘肃省农村饮水工程运行管理评价指标权重

Tab. 3　Evaluation index weight of rural drinking water project operation and management in Gansu Province

评价目标	一级指标	权重	二级指标	权重	归一化权重
甘肃省农村饮水安全工程运行管理评价A	组织管理A_1	0.25	政策体系A_{11}	0.30	0.0750
			管理体制A_{12}	0.24	0.0607
			管理人员配备A_{13}	0.26	0.0652
			健全机制与执行力A_{14}	0.20	0.0503
	工程管理A_2	0.20	供水保证率A_{21}	0.30	0.0602
			生产工艺及设备A_{22}	0.28	0.0559
			设施及管网状况A_{23}	0.30	0.0593
			乡村级水管员A_{24}	0.12	0.0246
	安全管理A_3	0.20	供水水质A_{31}	0.43	0.0860
			应急能力A_{33}	0.32	0.0645
			环境卫生A_{35}	0.25	0.0497
	经济管理A_4	0.14	水费征收率A_{41}	0.56	0.0779
			资金管理A_{42}	0.44	0.0621
	可持续能力A_5	0.21	维修养护A_{51}	0.35	0.0730
			资金扶持A_{52}	0.33	0.0697
			水源保护A_{53}	0.32	0.0673

占0.025。在农村饮水安全工程建设中,乡村水管员的队伍建设至关重要,由于甘肃省农村地区每村的水管员数量较固定,在全省范围内,各市州或各县(市、区)水管员数量没有较大差异,所以乡村级水管员的权重较小。

3.2　甘肃省农村饮水安全工程运行管理评价结果

图2为甘肃省县(市、区)农村饮水安全工程运行管理评价等级的空间分布图,可以看出,西部地区各县(市、区)评价等级均在良好以上,中部和东南部各县(市、区)评价等级大多为良好以上,但也有个别县(市、区)评价等级为一般,整体上西部各县(市、区)略好于中东部各县(市、区)。评价结果显示,87个县(市、区)中有16个县(市、区)的评价等级为优秀,优秀县(市、区)占全省的18%;64个县(市、区)评价等级为良好,占全省的74%,7个县(市、区)为一般,分别是陇南市宕昌县、平凉市崆峒

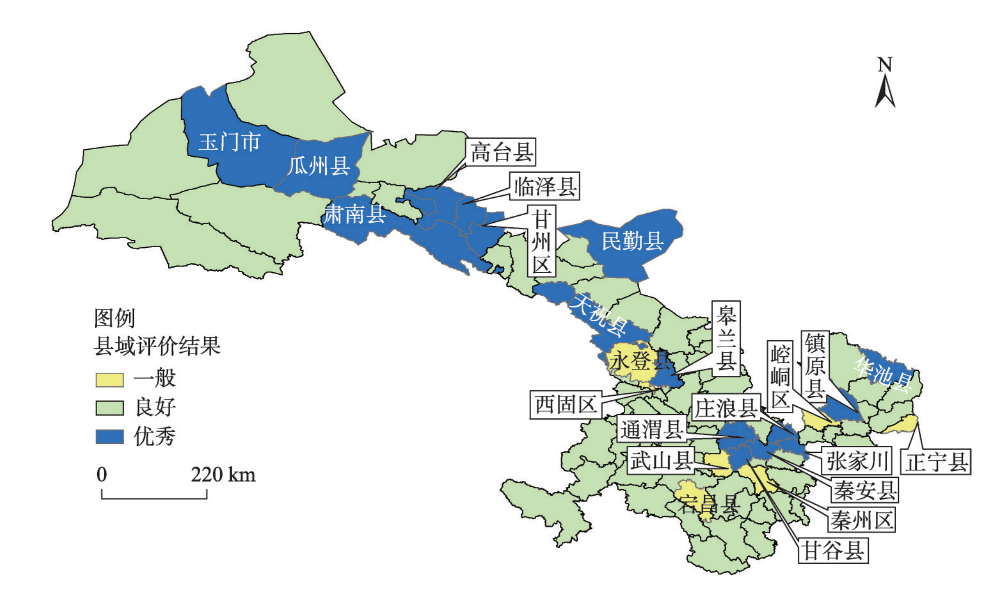


图2　甘肃省县(市、区)饮水安全工程运行管理评价等级的空间分布

Fig. 2　Spatial distribution of evaluation grade of operation and management of drinking water safety project in counties (cities, districts) of Gansu Province

区、天水市秦州区、武山县、兰州市西固区、永登县、庆阳市正宁县，一般等级的县(市、区)占全省的8%(图2)。图3为甘肃省市域饮水安全工程运行管理评价等级的空间分布图。全省各市州运行管理评价值平均为3.20，甘肃西部的张掖市和武威市运行管理评价值在3.5以上，评价等级为优秀，其他市州的评价值均在2.9~3.5，评价等级为良好。经过逐渐完善体制机制，健全责任体系，夯实运行管理，全省工程运行管理水平表现基本良好，总体满足现行农村饮水安全工程运行管理的要求。对甘肃省14个市州的农村饮水安全运行管理评价值进行排序，武威市>张掖市>酒泉市>嘉峪关市>天水市>白银市>定西市>庆阳市>甘南州>金昌市>平凉市>兰州市>临夏州>陇南市。

4 讨 论

4.1 农村饮水安全工程运行管理评价等级差异的归因分析

将评价为"一般"的7个县(市、区)各个指标评价值与评价为"良好"和"优秀"县(市、区)的各个指标评价值进行对比，据此找出影响7个县(市、区)评价等级的关键评价指标(图4)。由图4可知，"一般"等级与"良好"等级的差异主要体现在政策体系、健全机制与执行力、维修养护、乡村级管理员和供水水质5个指标中。分别对涉及以上5个指标的调查问卷结果进行对比发现：在政策体系方面，主要是运行管理办法、制度不够完善，针对性不强；在健全机制与执行力方面，管理单位对用水矛盾不能及时高效解决；在维修养护方面，群众对供水设施的维护意识不强，对工程维护的时效性不高；在乡村级管理员方面，培训及能力建设不足，水管员作用发挥不充分；在供水水质方面，专业水质检测技术力量薄弱。今后需要在上述方面进一步加强。"一般"等级与"优秀"等级的差异主要体现在政策体系、健全机制与执行力、乡村级管理员、水费征收率和维修养护5个方面。相比较"良好"与"一般"等级差值和"优秀"与"一般"等级差值而言，政策体系、健全机制与执行力、乡村级管理员、维修养护是共同影响"一般"等级评价值的指标。综合本研究结果以及前人在不同省份关于农村饮水安全工程建设效果评价的研究，均认为后期应该从水质监测、工程建后管理、资金到位、信息化建设等方面来加强和完善农村饮水工程[20,24-27]。在关于黄河流域农村饮水安全问题的研究中，认为应该从加强饮水安全设施建设和工程管理、强化水源地保护与监测、优先保障饮用水水量和水质等方面来全面维护流域内

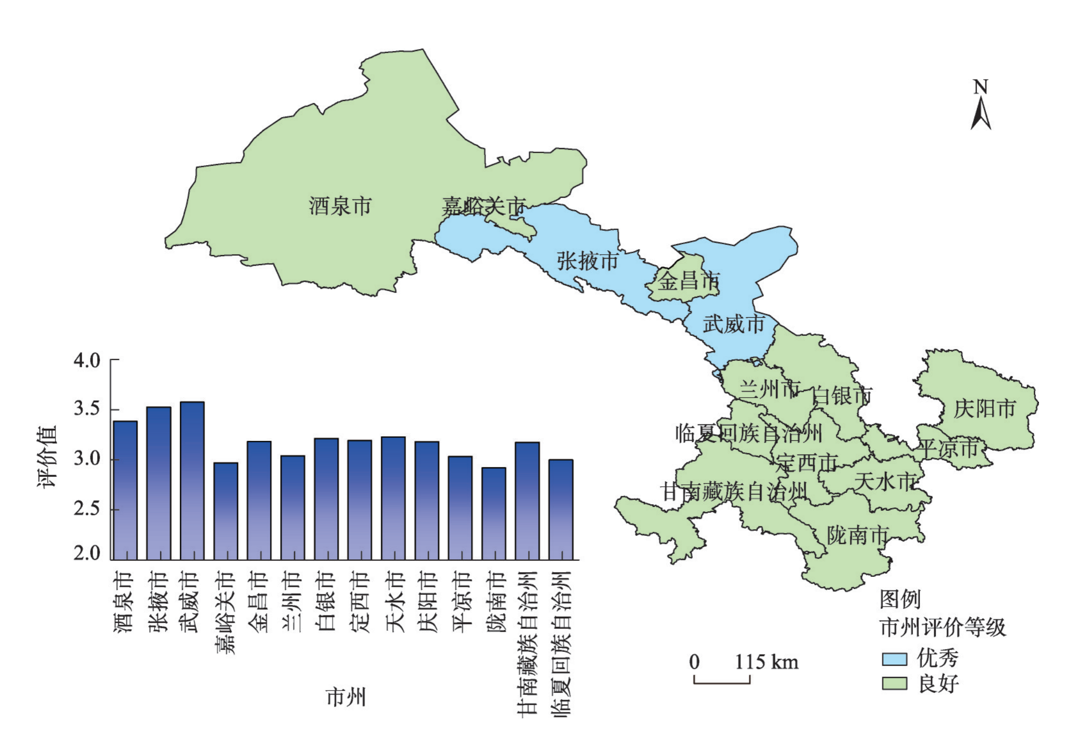
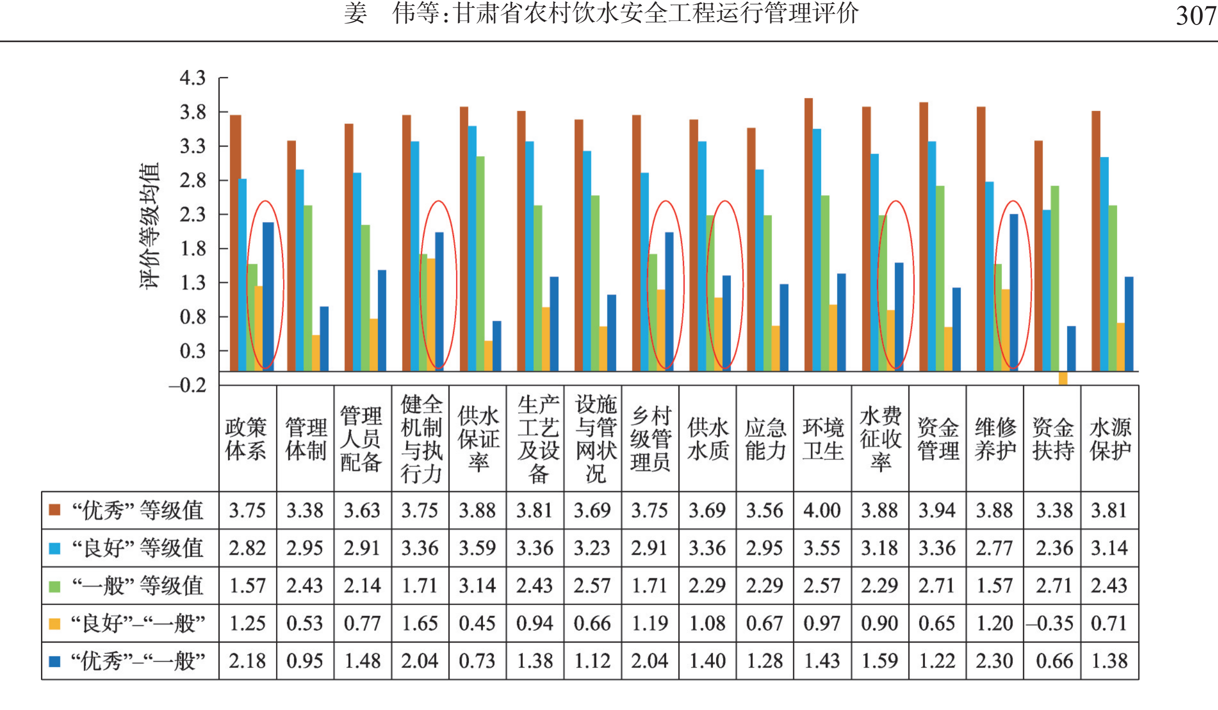


图3 甘肃省市域饮水安全工程运行管理评价等级的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of evaluation grades of drinking water safety project operation and management in Gansu Province



	政策体系	管理体制	管理人员配备	健全机制与执行力	供水保证率	生产工艺及设备	设施与管网状况	乡村级管理员	供水水质	应急能力	环境卫生	水费征收率	资金管理	维修养护	资金扶持	水源保护
“优秀”等级值	3.75	3.38	3.63	3.75	3.88	3.81	3.69	3.75	3.69	3.56	4.00	3.88	3.94	3.88	3.38	3.81
“良好”等级值	2.82	2.95	2.91	3.36	3.59	3.36	3.23	2.91	3.36	2.95	3.55	3.18	3.36	2.77	2.36	3.14
“一般”等级值	1.57	2.43	2.14	1.71	3.14	2.43	2.57	1.71	2.29	2.29	2.57	2.29	2.71	1.57	2.71	2.43
“良好”–“一般”	1.25	0.53	0.77	1.65	0.45	0.94	0.66	1.19	1.08	0.67	0.97	0.90	0.65	1.20	–0.35	0.71
“优秀”–“一般”	2.18	0.95	1.48	2.04	0.73	1.38	1.12	2.04	1.40	1.28	1.43	1.59	1.22	2.30	0.66	1.38

图4　农村饮水安全运行管理评价等级差异的归因分析

Fig. 4　Attribution analysis of differences in evaluation grades of rural drinking water safety operation and management

农村饮水安全[28]。此外,有学者针对农村饮水安全工程运行管理模式进行了探讨,认为供水协会管理模式在加强行业管理,促进饮水安全工程运行机制灵活有效,保障基本用水安全方面有较大优势,可以通过此种管理模式解决农村饮水安全存在的部分问题[29]。

4.2　甘肃省农村饮水安全工程建设模式探讨

甘肃省集中供水工程建设效果显著,总体来说,甘肃省南部和东部地区集中供水工程数量较多,中部和河西地区集中供水工程数量少,原因在于河西和中部地区人口较少,且地形平坦,可实现集中连片供水(图5)。集中供水率是指集中供水工程的供水人数与该区总人数的比值,集中供水率越高,说明该区饮水安全工程运行状况越好,自来水入户率是反映集中供水情况的重要指标。目前,受到地形、距离等因素的影响,华池县、环县、庆城县、礼县、榆中县、舟曲县、会宁县、镇原县、西峰区、岷县、靖远县、迭部县、宁县和合水县的自来水入户率在90%以下。河西地区是甘肃省自来水入户率最高的地区,特别是酒泉市和张掖市,除酒泉市肃北蒙古族自治县和张掖肃南裕固族自治县外,两市其他县(市、区)的自来水入户率均为100%(图5)。近年来,通过实施脱贫攻坚农村饮水安全巩固提升、冲刺清零和后续行动,全省大部分县(市、区)均实现了集中供水。

甘肃省分散供水工程主要分布在甘肃省中东部,如庆阳市环县、华池县、庆城县、镇原县;天水市麦积区、陇南市礼县、定西市岷县、白银市会宁县,上述县(市、区)的分散供水工程数量基本在10000处以上。主要原因是甘肃省中东部位于山区,建设集中供水工程投资大、效果差,而分散供水工程可以有效的结合当地实际,灵活机动的设置集中供水点、水窖等分散供水方式。本研究结果显示山区的饮水安全工程运行管理效果较平原区差,与已有研究对比发现同样的结论,山区的饮水不安全风险相对较高,而平原区饮水安全状况相对较好[30–31]。分析了甘肃省分散供水工程的主要形式,发现甘肃省主要的分散供水形式是水窖和小电井。水窖主要分布在庆阳环县和白银市会宁县,目前水窖数量在20000处以上。小电井分布范围较广,全省49%的县(市、区)均有小电井供水方式,其中镇原县、礼县、华池县、庆城县的小电井数量在10000处以上,岷县、麦积区等18个县(市、区)的小电井数量在1000处以上(图6),相对应的,这些县(市、区)的自来水入户率与全省平均水平比相对较低。

水窖是山区主要的饮用水储存形式,但是由于集雨区和水窖周围的环境差、雨水携带地面杂物进入水窖,易造成窖水污染。为了改善农村窖水的水质,提高农村居民的环境卫生意识,为农民提供安全有保障的饮用水,有关部门向农村居民提供了水

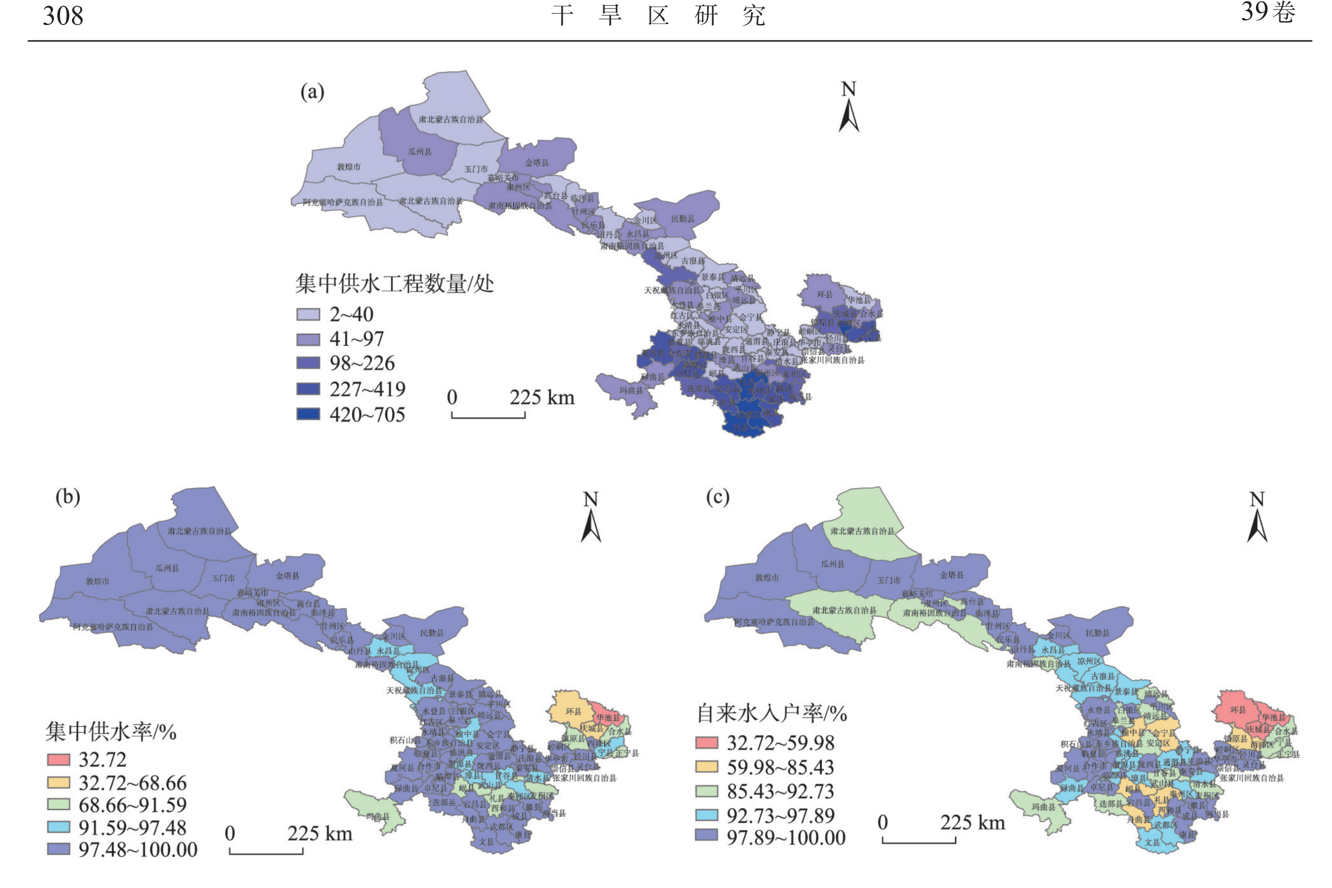


图5 甘肃省集中供水工程、集中供水率和自来水入户率的空间分布

Fig. 5 The spatial distribution of centralized water supply projects, centralized water supply rate and tap water entry rate in Gansu Province

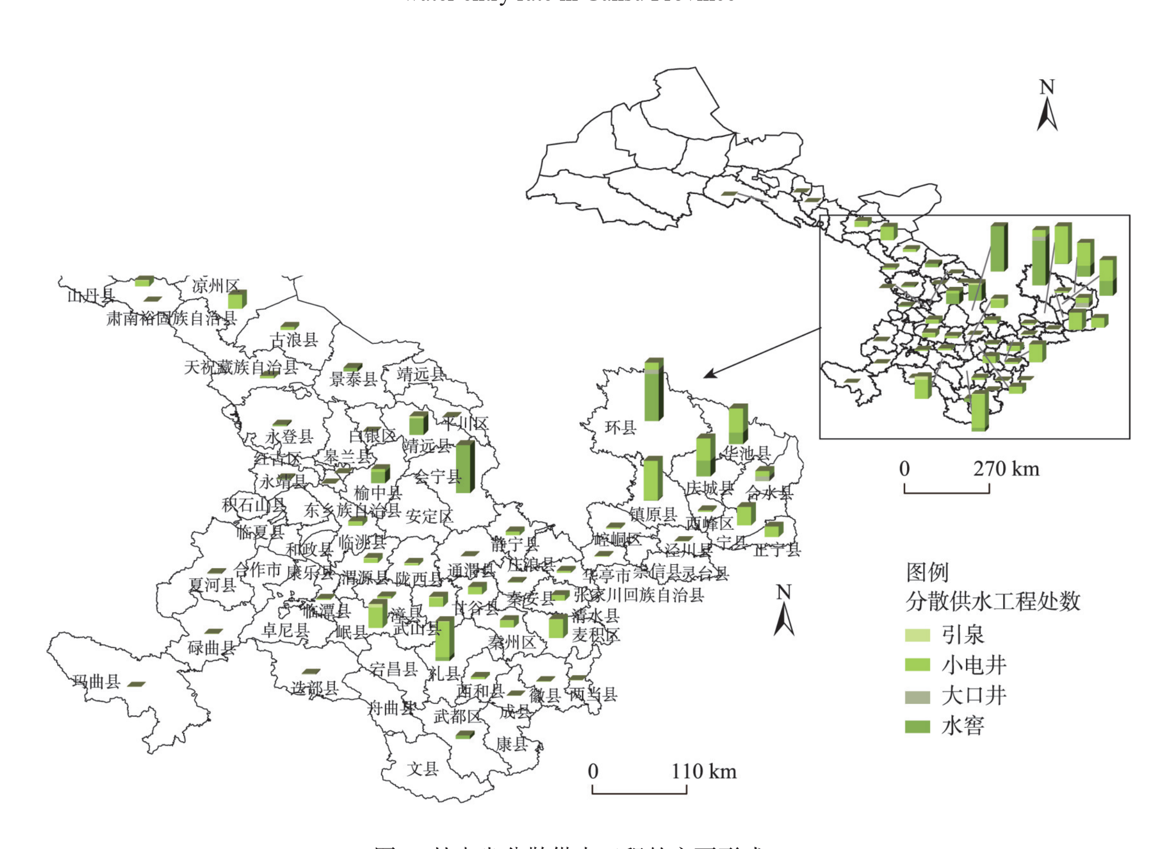


图6 甘肃省分散供水工程的主要形式

Fig. 6 Main forms of decentralized water supply project in Gansu Province

窖水净化设备。由图7可知,目前水窖水净化设备主要在庆阳市环县、华池县、庆城县大面积使用,兰州市榆中县、白银市会宁县和靖远县、陇南市礼县和武都区均有较大比例的净化设备在使用,据实地考察发现,水质净化设备在农村居民中非常受欢迎,普遍认为使用了净化设备后水垢和杂质有一定程度的减少。

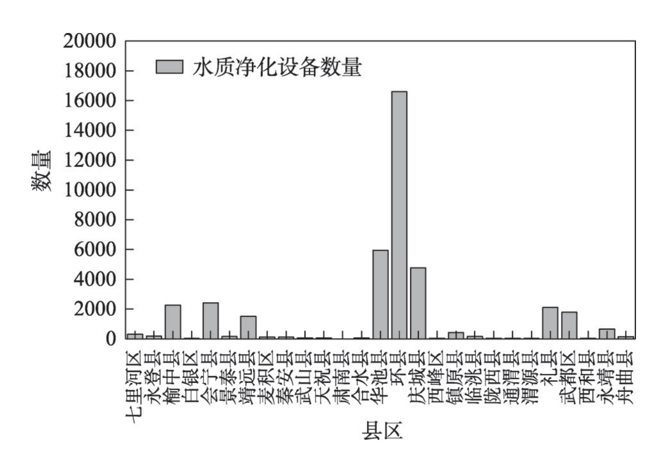


图7　甘肃省水窖水净化设备使用现状

Fig. 7　Current situation of water purification equipment in water cellar in Gansu Province

总体上,甘肃省实施了集中供水工程和分散工程,对于建设条件适合的县(市、区),特别是在甘肃省河西地区和中部地区,积极开展以大并小,小小联合等方式建设大型集中供水工程,目前该区域在自来水入户率,集中供水率方面位居全省前列。对于受到地形、水源等因素影响的区域,因地制宜,采取分散供水的形式,尤其以小电井和水窖为主,并且为此类区域的居民提供水质净化设备,提高饮用水的安全性,代表性县(市、区)有庆阳市环县和白银市会宁县,形成了具有甘肃省特色的饮水安全模式。

5　结 论

通过熵权法对甘肃省农村饮水安全工程运行管理评价指标进行赋权,并利用模糊数学法计算各个指标对评价等级的隶属度矩阵,经过权重与隶属度的矩阵运算,得出评价结果。经过对全省县(市、区)、市州的评价值计算和分析,得出如下结论:

(1) 甘肃省农村饮水安全运行管理状况良好,总体上满足农村饮水安全工程运行管理的要求,但是省内地区差异较大。在县(市、区)层面,运行管理状况为优秀的县(市、区)占全省的18%,且多分布在西部地区,等级为"一般"的区域占8%,多分布在中东部,等级为"良好"的县(市、区)占74%。在市州层面,全省仅有张掖市和武威市的工程运行管理等级为"优秀",其他市州的评价等级均为良好,总体上看,西部地区的评价值略高于中东部地区。说明甘肃省总体上已经形成了具有本省特色的饮水安全模式。

(2) 主要存在的问题,在政策体系方面,运行管理办法、制度不够完善,针对性不强;在健全机制与执行力方面,管理单位对出现用水矛盾不能及时高效解决;在维修养护方面,群众对供水设施的维护意识不强,对工程维护的时效性不高;在乡村级管理员方面,培训及能力建设不足,水管员作用发挥不充分;在供水水质方面,专业水质检测技术力量薄弱。今后需要在上述方面进一步加强。

(3) 未来甘肃省的这种饮水安全工程建设模式可以在其他区域进行应用,特别是在山地丘陵区域,结合当地地形地貌、人口、经济发展水平等因素,因地制宜的发展规模不一的分散性供水工程,提高水质监测频率,普及水质净化设备,提高饮用水质量。在平原地区,为了便于管理,发展集中连片的大型集中供水工程,并设置备用水源地,提高供水保证率。

参考文献(References):

[1] 李晶, 王建平, 孙宇飞. 新农村水务PPP模式在我国农村饮水工程建管中的应用研究[J]. 水利发展研究, 2012, 12(3): 1-5. [Li Jing, Wang Jianping, Sun Yufei. Research on the application of new rural water PPP model in the construction and management of rural drinking water projects in my country[J]. Water Resources Development Research, 2012, 12(3): 1-5.]

[2] 郑德凤, 徐文瑾, 张卓, 等. 山西省农村饮水安全评价与分析[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2019, 42(1): 99-105. [Zheng Defeng, Xu Wenjin, Zhang Zhuo, et al. Analysis and evaluation of rural drinking water safety decision-making in Shanxi Province[J]. Journal of Liaoning Normal University (Natural Science Edition), 2019, 42(1): 99-105.]

[3] 陈鹏. 济南市农村饮水安全工程绩效评价研究[D]. 山东: 山东大学, 2013. [Chen Peng. Research on the Performance of Rural Drinking Water Safety Project Evaluation of Ji'nan City[D]. Shandong: Shandong University, 2013.]

[4] 武莉沙. Y县农村饮水安全工程绩效审计评价指标体系研究[D]. 兰州: 兰州财经大学, 2019. [Wu Lisha. Research on Performance Audit Evaluation Index System of Rural Drinking Water Safety Project in Y County[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Fi-

nance and Economics, 2019.]

[5] 刘伟. 农村饮水安全工程快速评价方法研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2014. [Liu Wei. Study of Rapid Appraisal for Rural Drinking Water Safety Engineering[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2014.]

[6] 刘利霞, 王凤兰, 徐永新. 基于熵权法的区域农村饮水安全评价——以云南省为例[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(1): 99−103. [Liu Lixia, Wang Fenglan, Xu Yongxin. Security evaluation on regional rural drinking water based on entropy weight method: A case study of Yunnan Province[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2009, 20(1): 99−103.]

[7] 杨才杰, 张清明, 钱银芳, 等. 基于模糊层次分析法的农村饮水安全评价研究[J]. 人民黄河, 2011, 63(3): 44−45. [Yang Caijie, Zhang Qingming, Qian Yinfang, et al. Research on rural drinking water safety evaluation based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Yellow River, 2011, 63(3): 44−45.]

[8] 况卫明, 廖小龙, 谢彪, 等. 江西省农村饮水工程安全度评价指标体系探讨[J]. 江西水利科技, 2014, 40(2): 101−104. [Kuang Weiming, Liao Xiaolong, Xie Biao, et al. Discussion of evaluation index system on the safety degree of rural drinking water projects in Jiangxi Province[J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2014, 40(2): 101−104.]

[9] 秦山茸. 农村饮水安全工程建设效益分析与环境影响评价[J]. 水土保持应用技术, 2016, 36(1): 43−45. [Qin Shanrong. Benefit analysis and environmental impact assessment of rural drinking water safety project construction[J]. Technology of Soil and Water Conservation, 2016, 36(1): 43−45.]

[10] 田佳. 基于熵组合赋权和灰色聚类模型的农村饮水安全工程可持续运行管理绩效考核评价研究[J]. 水电能源科学, 2016, 34(10): 132−136. [Tian Jia. Performance evaluation of sustainable operation management of rural drinking water safety project based on grey clustering model and entropy combination weight[J]. Water Resources and Power, 2016, 34(10): 132−136.]

[11] 李斌, 杨继富. 农村饮水安全工程评价指标体系研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2014, 12(4): 380−385. [Li Bin, Yang Jifu. Study on the evaluation index system of rural drinking water safety engineering[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2014, 12(4): 380−385.]

[12] 张力, 陈菁, 陈丹, 等. 农村饮水安全工程用水户满意度评价——以江苏北部地区为例[J]. 中国农村水利水电, 2013, 55(9): 63−66. [Zhang Li, Chen Jing, Chen Dan. et al. Water User's satisfaction evaluation of rural drinking water safety projects: Taking the northern Jiangsu Province for example[J]. China Rural Water and Hydropower, 2013, 55(9): 63−66.]

[13] 克谢妮亚. 俄罗斯农村地区供水问题研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014. [Ke Xieniya. Research on the Utilities Problems in Rural Areas of Russian Federation[D]. Shenyang: Northeastern University, 2014.]

[14] 干钢. 浙江省农村饮水安全评价体系研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012. [Gan Gang. Research on Drinking Water Safety Evaluation System in Rural Area of Zhejiang Province[D]. Hangzhou: ZheJiang University, 2012.]

[15] 杨梅茹. 山东省农村饮水工程运行管理考核研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010. [Yang Meiru. Study on Operation and Management Assessment of Rural Drinking Water Project in Shandong Province[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010.]

[16] 杨立群. 农村饮水安全工程后评价研究——以新晃县为例[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016. [Yang Liqun. Study on the Post Evaluation of Rural Drinking Water Safety Project: Taking Xinhuang County as an Example[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016.]

[17] 窦睿音, 延军平, 王鹏涛. 全球变化背景下甘肃近半个世纪气温时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2015, 32(1): 73−79. [Dou Ruiyin, Yan Junping, Wang Pengtao. Spatiotemporal distribution of temperature in Gansu Province under global climate change during the period from 1956 to 2012[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(1): 73−79.]

[18] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 1960—2009年甘肃省极端气温的变化[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 674−680. [Wang Baolong, Zhang Mingjun, Wei Junlin, et al. Study on change of extreme temperatures in Gansu Province during the period of 1960−2009[J]. Arid Zone Research, 2012, 29(4): 674−680.]

[19] 赵一飞, 张勃, 汪宝龙, 等. 近54 a来甘肃省河东地区气候时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 956−964. [Zhao Yifei, Zhang Bo, Wang Baolong, et al. Spatiotemporal climate change in the Hedong Region in Gansu Province in recent 54 years[J]. Arid Zone Research, 2012, 29(6): 956−964.]

[20] 周振民, 周玉珠. 基于熵权法的河北省农村饮水安全评价[J]. 中国农村水利水电, 2013, 55(8): 58−61. [Zhou Zhenmin, Zhou Yuzhu. Security evaluation on rural drinking water of Hebei Province based on entropy weight method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2013, 55(8): 58−61.]

[21] 张凤太, 苏维词. 基于组合权重法的岩溶地区地下水资源生态安全动态演化研究[J]. 中国农村水利水电, 2016, 58(12): 53−58. [Zhang Fengtai, Su Weici. A study of the dynamic evolution of the ecological security of groundwater resources in karst region based on combination weighting method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016, 58(12): 53−58.]

[22] 潘峰, 梁川, 王志良, 等. 模糊物元模型在区域水资源可持续利用综合评价中的应用[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 271−275. [Pan Feng, Liang Chuan, Wang Zhiliang, et al. Fuzzy matter-element model for evaluating sustainable utilization of regional water resources[J]. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 271−275.]

[23] 宋科, 赵晟, 张力, 等. 基于模糊综合评价法的东极大黄鱼(*Larimichthys crocea*)养殖区海水水质评价[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(2): 383−388. [Song Ke, Zhao Cheng, Zhang Li, et al. Fuzzy comprehensive assessment on water quality of Larimichthys crocea mariculture areas at DongJi[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(2): 383−388.]

[24] 杜晓荣, 程晓敏, 吴震. 基于可持续发展的农村饮水安全工程绩效评价指标体系构建[J]. 项目管理技术, 2014, 12(9): 106−110. [Du Xiaorong, Cheng Xiaomin, Wu Zhen. Construction of perfor-

mance evaluation index system of rural drinking water safety project based on sustainable development[J]. Project Management Technology, 2014, 12(9): 106−110.]

[25] 穆贵玲, 邵东国, 张魁, 等. 湖南省农村饮水安全建设效果后评价[J]. 中国农村水利水电, 2014, 56(8): 36−40. [Mu Guiling, Shao Dongguo, Zhang Kui, et al. Post-Assessment of the construction effectiveness of rural drinking water safety in Hunan Province[J]. China Rural Water and Hydropower, 2014, 56(8): 36−40.]

[26] 刘玉龙, 邵东国, 杨丰顺, 等. 湖南省农村饮水安全工程建设效果后评价研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(1): 99−102. [Liu Yulong, Shao Dongguo, Yang Fengshun, et al. Post- assessment methods for rural drinking water safety projects in Hunan Province [J]. Journal of Irrigation Drainage, 2013, 32(1): 99−102.]

[27] 李代鑫, 杨广欣. 我国农村饮水安全问题及对策[J]. 中国农村水利水电, 2006, 48(5): 4−7. [Li Daixin, Yang Guangxin. Problems and countermeasures of rural drinking water safety in China[J]. China Rural Water and Hydropower, 2006, 48(5): 4−7.]

[28] 袁星, 孔畅, 王利, 等. 黄河流域农村饮水安全问题及对策[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 69−77. [Yuan Xing, Kong Chang, Wang Li, et al. Problems and countermeasures of drinking water safety provision in rural areas of the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 69−77.]

[29] 周青. 农村安全饮水工程运行管理模式研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013. [Zhou Qing. Research on Operation and Management Mode of Rural Safe Drinking Water Projects[D]. Changsha: Hunan University, 2013.]

[30] 陆建红, 丁立杰, 徐建新. 模糊综合评价模型在农村饮水安全评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2011, 29(2): 99−102. [Lu Jianhong, Ding Lijie, Xu Jianxin. Application of fuzzy comprehensive evaluation model to safety of rural drinking water[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(2): 99−102.]

[31] 戴向前, 刘昌明, 李丽娟. 我国农村饮水安全问题探讨与对策[J]. 地理学报, 2007, 74(9): 907−916. [Dai Xiangqian, Liu Changming, Li Lijuan. Discussion and countermeasures on safe drinking water in the rural areas of China[J]. Acta Geographical Sinica, 2007, 74(9): 907−916.]

Evaluation of the operation and management of rural drinking water safety projects in Gansu Province

JIANG Wei[1], XI Haiyang[2], CHENG Wenju[2,3], LIU Qin[1]

(1. Rural Drinking Water Safety Management Office of Gansu, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Alxa Desert Ecology-Hydrological Experimental Research Station, Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin, Northwest Institute of Eco-Environmental and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Rural drinking water safety projects are major livelihood initiatives for achieving a well-off society in an all-round way. Based on statistical data, field visits and questionnaires, this study used entropy methods and fuzzy mathematics to evaluate the current status of operation and management of rural drinking water safety projects in Gansu Province. The aim was to establish a more comprehensive, systematic, and long-term evaluation system and, at the same time, analyze the existing problems in the operation and management of the currently active drinking water safety projects. The results show that (1) the overall operation and management of rural drinking water safety projects in Gansu Province is good, but there are large differences among provinces. The evaluation results for five cities in Hexi are better than those for the southern counties, which are generally poor. (2) For areas with a “general” evaluation grade, it is necessary to increase capital investment and management, especially for policy implementation, update and implementation of management regulations, raise public awareness, establishment of plumber teams, intelligent construction of water supply pipelines, and further deployment optimization. After years of practical exploration, Gansu Province has formed a special drinking water safety project construction model that simultaneously develops centralized water supply projects and decentralized water supply projects. This study aims to provide practical countermeasures and suggestions for the development of rural drinking water safety projects, and also provide technical support and a scientific basis for the establishment of rural drinking water safety practices in Gansu Province and other parts of the country in the future.

Keywords: rural drinking water safety; drinking water project; operation management; evaluation; Gansu